Reforço de laje maciça de cobertura, com tecido de fibra de carbono, para apoio de caixa d´água

Edson Elias Matar

Mestre em Engenharia de Estruturas pela EPUSP

ESCALE Engenharia

Resumo

Com a atual crise hídrica em São Paulo e com os anúncios de rodízio de água premente, os moradores de casas e prédios estão instalando novas caixas d´água em suas residências. A carga devida ao peso da água não se enquadra nos critérios estatísticos adotados nas Normas Brasileiras; trata-se de uma carga real: cada 10 centímetros de altura de água correspondem a um adicional de carga distribuída de 100 kgf/m². As lajes de cobertura, por sua vez, têm espessura da ordem de 5 cm e são armadas para uma sobrecarga de apenas 50 kgf/m². Assim, se a caixa d´água for apoiada diretamente na laje, é necessário um reforço prévio e o mais indicado, por sua praticidade, rapidez e viabilidade econômica, é o reforço com tecido de fibra de carbono. Apresentamos aqui uma estimativa de reforço com esse material para fins de balizamento; para cada caso caberá um cálculo específico.

1. Introdução

O reforço em tecido de fibra de carbono (TFC), no Brasil, já vem sendo utilizado largamente em obras para atender acréscimo de sobrecargas em lajes, aberturas em vigas, e lajes ou pilares com resistência do concreto abaixo do valor de projeto, entre outros. A relativa rapidez na execução do reforço, sua pequena espessura e peso e seu custo, cada vez mais competitivo, vêm levando o reforço com TFC a ser o escolhido na maior parte dos casos.

Devido à baixa resistência das lajes de cobertura, a correta instalação de caixas d´água na cobertura de residências requer vigamento de madeira ou aço para apoiar as mesmas nas vigas de extremidade, poupando a laje. A colocação de caixas d´água adicionais, diretamente nas lajes de forro, gera um carregamento muito maior que aquele projetado para a laje e, assim, ela precisará de reforço, proposto aqui em TFC.

Adotaremos uma forma hipotética para a laje, uma caixa d´água adicional de 1000 litros, e faremos o cálculo do reforço em TFC. Para cada caso real deve-se efetuar um cálculo específico de reforço.

2. Tecido de fibra de carbono

O TFC utilizado para reforço do concreto armado é unidirecional, colado e impregnado por resina epóxi, e apresenta as seguintes características:

Peso específico do tecido: 300 gf/m³

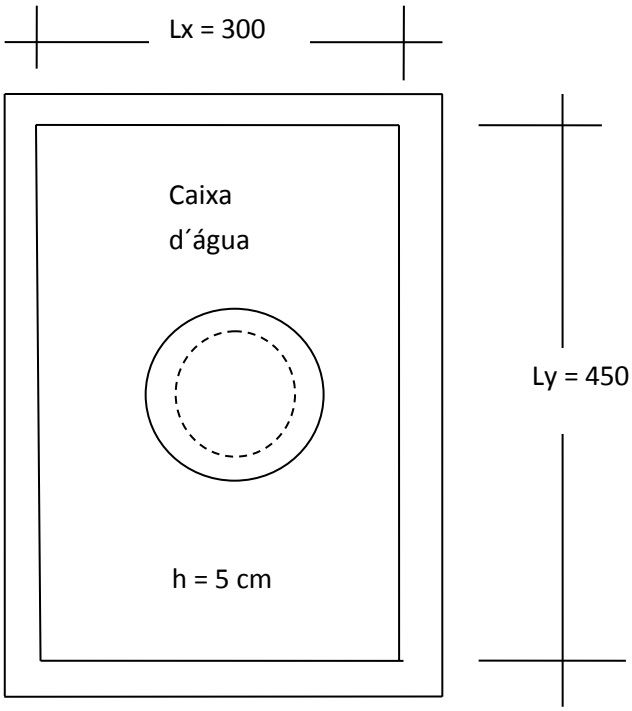
Espessura do tecido: 0,172 mm

Resistência última da fibra: 3500 MPa

Resistência última do compósito fibra + resina epóxi : 3500 MPa
Módulo da fibra: 266 GPa
Deformação última na ruptura: 13,5 por mil
Espessura do compósito (1 camada): 0,38 mm
Módulo do compósito: 125 GPa
O cálculo do reforço (largura e número de camadas) é feito considerando-se os três materiais (concreto, aço e compósito) trabalhando juntos no Estado Limite Último e, por essa razão, a deformação do compósito é limitada em 9,8 por mil, o que abaixa a tensão limite do compósito para 1125 MPa.

3. Forma da laje

Consideremos a seguinte forma hipotética para a laje que irá apoiar a caixa d´água.



4. Esforços na laje

Os esforços na laje serão calculados por Czerny, considerando carga distribuída de peso próprio mais revestimento e carga parcialmente distribuída da caixa.
Ly/Lx = 450/300 = 1,5
Peso próprio da laje e revestimento (10 cm):
p = 2,5 x 0,05 + 0,100 = 0,225 tf/m²
para Kzerny: k = 0,225 x 3,0 x 4,5 = 3,04 tf
mx = 20,5 e my = 52,0
Mxg = 3,04/20,5 = 0,15 tf x m/m
Myg = 3,04/52,0 = 0,06 tf x m/m

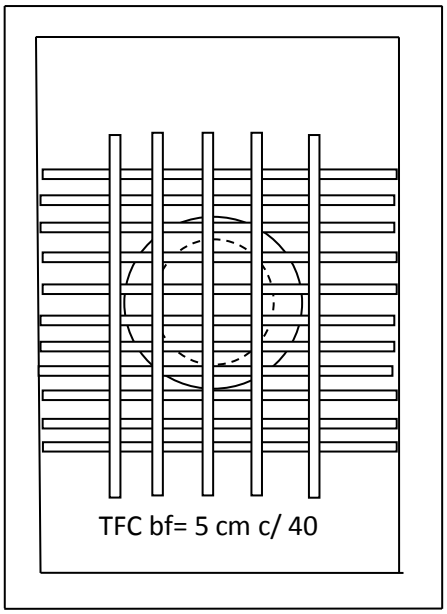
Dados da caixa d´água de 1000 litros:
diâmetro da base: 1150 mm
diâmetro máximo: 1440 mm
altura máxima de água: 775 mm
peso da caixa cheia: 1000 kgf
para Kzerny: K = 1,00 tf; tx/Lx = 115/300 = 0,383 e ty/Ly = 115/450 = 0,256 (média 0,320)
Mxq = 1,025 x 3,44 / 20,5 = 0,17
Myq = 1,025 x 3,44 / 52,0 = 0,12

Momentos fletores totais na laje:
Mxt = 0,15 + 0,17 = 0,32 tf x m/m
Myt = 0,06 + 0,12 = 0,18 tf x m/m

5. Estimativa do reforço

Estimaremos os reforços em TFC a serem colados, na face inferior da laje, nas duas direções, na região de apoio da caixa.
Com os esforços, calculamos as armaduras (aço CA50) necessárias em ambas as direções:
Kcx = 100 x 3,5 x 3,5 / 32 = 38 então Asx = 0,35 x 32 / 3,5 = 3,2 cm²/m
Kcy = 100 x 3,5 x 3,5 / 18 = 68 então Asy = 0,35 x 18 / 3,5 = 1,5 cm²/m
Consideramos que a laje possui, pelo menos, armadura mínima de norma nas duas direções.
Asmin = 0,15 x 5 = 0,75 cm²/m
Sendo a tensão limite no aço CA50 igual a 5000 kgf/cm², teremos os reforços abaixo.
Reforço na direção x: ΔAsx = 3,2 – 0,75 = 2,45 cm²/m
2,45 x 5000/1,15 = bfx x 0,038 x 11250/1,4
bfx = 34,9 cm/m
Adotaremos TFC bf = 5 cm c/ 15 (33,33 cm/m 4,7 % a mais, aceitável)
Reforço na direção y: ΔAsy = 1,5 – 0,75 = 0,75 cm²/m
0,75 x 5000/1,15 = bfy x 0,038 x 11250/1,4
bfy = 10,7 cm/m
Adotaremos TFC bf = 5 cm c/ 40 (12,50 cm/m)

CROQUI DO REFORÇO EM TFC



TFC bf= 5 cm c/ 15

6. Conclusão

Esse artigo mostrou, então, ser viável o reforço de lajes maciças, que foram projetadas para ser coberturas, visando ao apoio direto de caixas d´água de até 1000 litros. Vale observar que o reforço em tecido de fibra de carbono, aqui estimado, deve ser aplicado na face inferior da laje antes do enchimento da caixa; caso a caixa esteja cheia, será necessário esvaziá-la, aplicar o reforço e, apenas após a cura da resina, que leva três dias, voltar a encher a caixa. O cálculo apresentado neste artigo é apenas estimativo e serviu para mostrar a viabilidade do método de reforço. Para cada caso em particular caberá cálculo específico no qual também devem ser verificadas as vigas.